

日本の化学資源事情

—主として無機化学資源を中心として—

岩城良次郎

はじめに

あらゆる物質は天然資源のままか、あるいは、それらから化学反応によって誘導されたものである。化学資源は物質の有効利用上、エネルギー資源と並んで根源的な存在といえよう。わが国の資源の多くは量的にも質的にもきわめて貧弱であり、その多くを海外に依存している。現代日本の化学工業を支える化学資源の国内生産と輸入状況を全般的に再確認することは、きわめて有意義なことと思われる。本稿では無機化学資源の供給源として大気、海水、淡水、地殻、回収の各方向から、その存在度と利用度を考察してみよう。

1. 化学資源としての大気

大気の化学組成は体積比として、 N_2 78.1%， O_2 20.9%，Ar 0.934%， CO_2 0.033%， H_2 および N_2O 0.5 ppm，Ne 18.18 ppm，He 5.24 ppm， CH_4 2 ppm，Kr 1.14 ppm，Xe 0.087 ppm である。これらのうち工業的に利用されているものは N_2 ， O_2 ，Ar，Ne，Kr，Xe である。He は大気中にも存在するが、アメリカやカナダなどで産出する天然ガス中により豊富に含まれるので、大気中からは採取されていない。He はすべての物質のうちでもっとも液化しにくい気体であることも、大気中から採取されない原因の一つであろう。

大気各成分は、いずれも常温で気体であり、自由に混合できるため、地球上で場所に無関係に採取できる資源である。また、リサイクルされることから、事実上無限の資源でもある。つぎに、大気成分

の利用状況を述べてみよう。

(1) 窒素 (N₂)

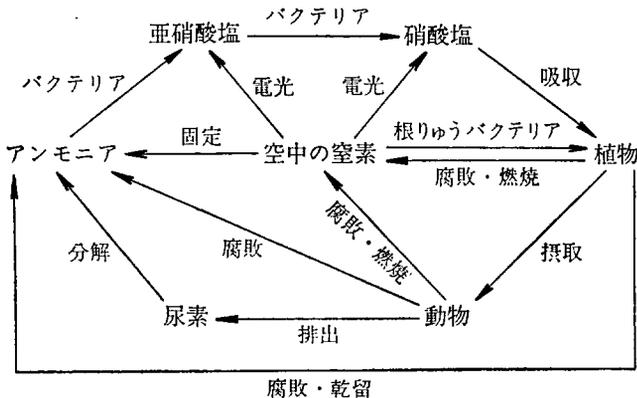
窒素ガスのもつ化学的不活性と液体窒素のもつ低温の利用は、単に化学工業のみならず、エレクトロニクスや食品工業など多方面に飛躍的な伸びをみせ、その生産量は 1962 年に 3,600 万 m³ であったものが、1972 年には約 22 億 m³ と急伸している。

化学工業上、窒素はアンモニアの合成原料のほか、合成樹脂や合成繊維などの製造プロセス中で酸化防止剤として用いられる。たとえば、ポリエーテルは酸化されやすく、酸化されると製品が着色してしまうので、ポリエーテルのタンクは窒素シールをするのが普通である。その他、アクリルニトリルのように可燃性で有毒な製品の輸送においても、バージガスとして窒素が用いられる。

液体窒素による低温利用としては、つぎのようなものがある。

- i) コールドチェーン関連機器への利用 (食品凍結、冷凍輸送車など)
- ii) 廃棄物処理への利用 (スクラップ車や古タイヤの低温粉碎、廃電線より銅の回収など)
- iii) 土木工事への利用 (土壌凍結など)

図 1 窒素の循環



- iv) 金属・プラスチック加工への利用 (サブゼロ処理, プラスチック加工など)
- v) 医学・生化学への利用
- vi) エレクトロニクスへの利用 (半導体の製造, 低温ケーブルの冷却剤, MHD 発電など超電導コイルの冷却補助剤など)

前述のように窒素は多方面に利用されるが, その窒素は大気から大量かつ容易に得られ, 再び大気へ戻るというリサイクル過程 (図 1 参照) を辿るため, 無限に利用できる資源である。

(2) 酸素 (O_2)

酸素は水の電気分解によっても製造されるが, コスト高のため生産量の約 98 % は空気分留法で製造されている。製造操作の前半は空気の圧縮・冷却であり, 後半は空気から酸素と窒素とを沸点の差を利用して分ける分留である。日本の酸素の需要は, 酸素上吹転炉による粗鋼生産用が全体の約 75 % を占め, 他が化学工業用である。従って, 鉄鋼または化学会社など特定の一工場を供給対象とした専属タイプのオンサイトプラントが各地に形成されている。また, オンサイトプラントには, 数社数工場を対象とした distribution center タイプのものもある。化学工業用としての酸素の需要は, 天然ガスまたはナフサなどの部分酸化法によるアセチレンおよびメタノール製造用が圧倒的に多く, そのほかの需要は, ヘキスト・ワッカー法によるアセトアルデヒドの製造とアセトアルデヒドから酢酸の製造, シェル法による酸化エチレンの製造, オキシクロリネーションによる塩ビモノマーの製造, バイエル法による酢ビの製造などである。このほか, 酸素はオゾンの製造, 溶接, 溶断, 熱源, 医療吸入用, 空気浄化, 高発熱量灯用ガスの製造などに用いられる。

酸素は現在大気中に無限にあると考えてよいが, つぎのことを忘れてはならない。すなわち, 石油や石炭などの燃焼をはじめ, 各種の酸化反応においては, いずれも酸素を使っている。これに対して酸素を生産している植物のうち, 莫大な量を木材として使っているのが現状

である。このような樹木の伐採を続けていくと、地球が長い間かかって蓄積した酸素を消費して行って地球上の人間の生存が脅かされることになりかねない。人間と自然との調和を保つという基本的な考え方を忘れてはならない。

(3) アルゴン (Ar)・クリプトン (Kr)・キセノン (Xe)

希ガス中、アルゴンはもっとも存在量が多く、最初に発見された元素で、1972年の日本の生産量は1,666万 m^3 である。アルゴンの沸点は酸素に近いので、低圧塔酸素に近い部分から原料ガス(酸素濃度87~88%)が採られる。これをアルゴン精留塔で精留するとアルゴン95~96%の粗アルゴンが得られ、さらに水素を加えて燃焼させ、含有酸素を除く。これを精製すると99.9%のアルゴンが得られる。アルゴンは、電球・真空管・蛍光灯・低圧水銀灯の充てん用、電弧溶接用保護ガス、チタン精錬用、ステンレス精錬用、製鋼脱ガス用、電子工業用に使われる。

クリプトンとキセノンは、1972年に初めて国産化され、輸入への依存はなくなった。製鉄用酸素の副産品として製造され、その設備能力は年間 Kr 100万 l 、Xe 10万 l といわれている。

2. 化学資源としての海水

海水中に存在する塩類は重量比で3.5%に達し、海水1 km^3 当り約 35×10^6 トンに相当する。海水中の溶存元素のうちNaとClはとびぬけて多く、それらに続いてMg, S, Ca, K, Brなど多種類の元素が存在する。しかもその貯蔵量は莫大である。しかし、現在商業ベースで利用されている元素はNa, Cl, Mg, Brの4種にすぎない。これは特定な元素だけを取り出すための特有反応が部分的にしか分かっていないこと、溶存元素の総量は大きいといっても、海水中の濃度はきわめて希薄であり、とてつもなく多量の水を処理しなければならないこと、また同じ元素が陸にある資源からはるかに容易かつ安価に製造できることなどのためである。

ドイツの Fritz Haber が第一次世界大戦後の負債を返却するために、海水から溶存している金を抽出しようとして、10年も努力したが不成功に終わったことは有名な物語である。しかし、将来は海洋中からもっと多数の元素が抽出され、利用される時代がくるかもしれない。わが国でも脱石油をめざして海水からウラン採取が研究されている。つぎに現在利用されている4元素の製造と利用状況を述べてみよう。

(1) 食塩 (NaCl) の抽出と利用

食塩1トンを得るには海水40トンを蒸発しなければならない。したがって現在、そのために約19億トンの海水が年々消費されているが、地球上の海水全量からみると10億分の1にすぎず、まさに海水中の食塩の量は無尽蔵といえる。しかし、世界の諸国では岩塩やかん水として食塩が地殻中に産出するため、海水からの製塩を行わないことが多い。人工的天日製塩は世界の総生産量の20%前後に過ぎない。一般に余剰国が多く自給不能の国は少ない。

わが国は四面海に囲まれながら無尽蔵にある食塩を採取するには気象条件が天日製塩に適せず、近年イオン交換膜利用による製塩法が急速に普及している。しかし、コストの点で輸入塩に対抗できず需要量の約90%を輸入に依存している。この依存度を少しでも減らすことが今後の大きな課題である。

わが国の工業塩の消費のうち約79%がソーダ工業用であり、食塩のNa成分はソーダ灰と水酸化ナトリウムをはじめ各種のナトリウム化合物の製造に、他方Cl成分は塩素ガスをはじめ種々の塩素化合物の製造に使用される。

世界のソーダ灰はほとんどソルベール法で製造されている。しかし、日本では塩素分を有効利用するために、塩安ソーダ併産法が開発され、もっぱらこの方法によっている。水酸化ナトリウム(カ性ソーダ)の製法はアンモニアソーダ法と電解法とにわかれ、水酸化ナトリウムと塩素のバランス対策として、昭和36年以來計画的にアンモニアソーダ法による水酸化ナトリウム設備の電解法への転換を進め、昭和42

年完遂し、現在ではアンモニアソーダ法による水酸化ナトリウムは存在しない。電解法の生産パターンを決定する最大要素は需要構造、経済計算、公害規制である。日本では、良質の水酸化ナトリウムを必要とする化学繊維工業が主要需要産業であったため、隔膜法から水銀法へと転換されていった。その転換率は昭和 30 年 56 %、35 年 73 %、40 年 86 %、45 年 94 %と進行した。しかし、水銀による河川の汚染規制強化に伴ない、昭和 50 年 9 月を目標に 70 %を隔膜法に転換、残りの 30 %についても昭和 52 年末までに完全実施に移すことになった。隔膜法製品の品質は水銀法に比べ悪いため、需要関連業界の協力と触媒問題など、転換にともなう問題点を数多く抱えている。このような化学プロセス上の逆転は将来を見通すことが、いかに困難であるかを物語るものである。現在隔膜法の技術改良が急速に進められている。

食塩を原料としてつくられる製品の概要を 1972 年の生産量を例にとって考えてみよう。

食塩の生産量 806 千トン、輸入量 6,921 千トン、合計 7,727 千トンのうちソーダ工業へは 79 %に当たる 6,090 千トンが消費された。ソーダ工業製品として生産されたものは、水酸化ナトリウム 2,900 千トン、ソーダ灰 1,300 千トン、液体塩素 448 千トン、合成塩酸 (35 %換算) 650 千トン、塩素酸ナトリウム 49.4 千トンである。さらにそれらから誘導される製品は次のようである。

i) 水酸化ナトリウムからつくられる製品

1972 年の水酸化ナトリウムの用途はガラス 55.2 %、化学工業 22.4 %、鉄鋼 8.2 %、その他 14.2 %となっている。化学工業上、水酸化ナトリウムから得られる主要な製品は、金属ナトリウム (2 千トン)、シアン化ナトリウム (30 千トン)、過酸化ナトリウムなどである。金属ナトリウムは、シアン化ナトリウム、過酸化ナトリウム、ナトリウムアマルガム、四エチル鉛、高級アルコール、金属チタン、金属ジルコニウム、その他の薬品の製造に用いられる。シアン化ナトリウムは、金の精錬、メッキ、顔料、農薬、シアン化物の製造のほか、合成樹脂、

合成繊維などの合成化学原料としての用途が多くなった。また、過酸化ナトリウムは過酸化金属、過ホウ酸塩、繊維、竹製品、真珠などの漂白に用いられる。

ii) ソーダ灰からつくられる製品

ソーダ灰の用途は化学工業 62.4 %、繊維工業 9.8 %、紙・パルプ工業 6.3 %、アルミニウム 6.3 %、グルタミン酸ソーダ 2.7 %、その他 12.5 %となっている。化学工業上の主要製品はケイ酸ナトリウム (691.8 千トン)、重炭酸ソーダ、そのほか各種のナトリウム塩ならびに炭酸マグネシウム、炭酸バリウムなどである。ケイ酸ナトリウムは段ボール紙などの接着剤、セッケン配合剤、セメント急硬剤、セメント・レンガの気孔ふさぎ、シリカゲルの製造、絹の精練、木材処理などに用いられる。

iii) 塩素からつくられる製品

塩素を原料としてつくられる工業薬品は非常に多い。その主なものを次に挙げてみよう。さらし粉 (35.5 千トン)、さらし液 (390.3 千トン)、高度さらし粉、二酸化塩素、塩化イオウ、三塩化リン、五塩化リン、四塩化炭素、塩化アルミニウム、四塩化チタン、四塩化ケイ素、四塩化ジルコニウム、塩化第二鉄、塩化第一スズ、塩化第二スズ、亜塩素酸ナトリウム、塩素酸ナトリウム、塩素酸カリウム、過塩素酸アンモニウム、過塩素酸カリウム、ホスゲン、合成塩酸、塩化ビニル、塩化ビニリデン、クロロブレン、トリクロルエチレン、ジクロルエタン、クロロホルム、クロラール、2-4 ジクロルフェノールなど多数の有機塩素化合物。

(2) 臭素 (Br₂)

1934 年アメリカの Wilmington, North Carolina に Ethyl-Dow 社によって初めて海水から直接臭素を製造する工場が建てられた。その後、イギリス、フランス、日本などで海水法の工場が建設され、今日では、世界の臭素生産量の大部分は海水法によるようになった。

海水から臭素を単離する方法には、苦汁からの蒸発法と、海水に塩

素を吹き込む海水直接法とがある。1972年の臭素の生産量は10,700トンであった。他の多くの化学工業に見られるような、原料を海外に依存することがないので、日本で伸ばすべき工業の一つと考えられる。

臭素の用途は、医薬製造（ブロムジエチルアセチル尿素など）、染料製造（エオシン、ブロムインジゴ、アリザリンイエローなど）、酸化剤、殺菌剤、臭化物（臭化カリウム、臭化ナトリウムなど）の製造、インキの製造、電池の分極剤、写真乳剤、冶金用、中間物製造用、皮革用、二臭化エチレン（アンチノック剤として四エチル鉛に添加する）などである。

(3) マグネシウム (Mg)

マグネシウムの製造は製塩のさい副生する苦汁（主成分塩化マグネシウム）を精製してつくった塩化マグネシウムの1.25水塩を電解するDow法および無水塩化マグネシウムを電解するIG法が主流である。マグネシウムはドロマイトの還元蒸留によっても製造され、また、チタン製錬のさいに発生する塩化マグネシウムの電解によっても製造される。1972年のマグネシウム新地金の生産量は10,463トンであった。マグネシウムは、アルミニウム合金添加用、チタン製造用、ノジュラー鋳鉄用、マグネシウム鋳物製造用、防食用、還元剤、マグネシウム電池、化学薬品製造用として用いられる。

3. 水資源

多くの化学反応は水溶液中で行われるが、単に溶媒としてでなく、反応の成分として働らく場合も多い。また反応槽の加熱や冷却の媒体としても重要なものである。

地球上の水の総量は 1.36×10^{21} lと計算されており、そのうち97.2%が海水、2.8%が淡水である。この淡水のうち極地の氷が2.24%、深い地下に埋蔵されている水が0.53~0.55%、地表の循環水で利用できる水は0.01~0.03%にすぎない。日本の総淡水資源は年間6千億トンで、大気へ蒸発したり、洪水などで失われるものを除くと、実際に使える水は1,300~1,400億トンになる。一方淡水の消費量は、生

活用水として年間 100 億トン、農業用水として 500 億トン、工業用水として 150 億トンであり、合計年間 750 億トンの淡水を使用している。この量は使用可能限界の 50 %以上に相当する。工業用水としては、このほかに年間回収水 160 億トン、海水 500 億トンが用いられる。1971 年の淡水の工業への用途は冷却用 64 %、製品処理用 22.4 %、温調用 5.5 %、ボイラー用 2.3 %、原料用 0.6 %であり、海水については冷却用 94 %、製品処理用 3 %、温調用 0.4 %、原料用 1.3 %となっている。また工業用水の産業別消費は化学工業 36 %、鉄鋼業 22 %、紙・パルプ製造業 14 %、その他 28 %である。

工業用水の合理化政策として、昭和 48 年 5 月に（財）造水促進センターが設立された。同センターの機能はつぎのとおりである。

- i) 各種の実証プラントを建設することによって、造水の実用化を促進する。
- ii) 造水に係る新技術、システム技術等の開発を促進する。
- iii) コンサルティング等を通じて造水技術の普及を図る。
- iv) 造水に係る各種の調査、情報提供、造水プラントの性能試験等を行うことにより、実用化のための開発を促進するとともに、開発された技術のユーザーへの移転を実現し、その普及を促進する。

4. わが国の特産資源ヨウ素

世界でヨウ素を経済規模で生産している国は、日本とチリしかない。1967 年まではチリの生産量の方が多かったが、その後日本の生産量の方が優位を占め、1972 年では 7,500 トンに達している。またヨウ素を輸出できる国も、わが国とチリの両国にすぎない。

チリではチリ硝石から硝石を製造するさい、副産する母液からヨウ素を製造している。わが国では千葉県下および新潟県下に産出する天然ガスに付随して湧出する地下かん水に、比較的多量のヨウ素を含有しているので、これを原料としてヨウ素を製造している。現在工業的に行われている製造方法は、活性炭法、銅法、イオン交換樹脂法、ブローアウト法の四方法である。

ヨウ素の用途は、殺菌消毒剤、保健用医薬剤、土壤消毒剤、植物の病害予防、植物の落葉剤、塩化ビニルの安定剤ジブチルチンオキサイドの合成などの触媒、ナイロンタイヤコードの製造や塩化ビニルの酸化防止、合成ゴムの老化防止、染料、写真感光剤、X線対照剤、ヨウ素電球、有機合成におけるメチル化およびエチル化、チタン・ジルコニウム・シリコンなどの製錬用、光化学オキシダントの測定など各方面に亘っている。

5. 非金属鉱物資源

(1) 自給率 90~100 %の非金属鉱物資源

i) 石灰石

地下資源に恵まれないわが国において、石灰石だけは品質と埋蔵量とにおいて誇りうる唯一の資源である。その産地はほとんど全国にわたっている。1973年の生産量は163,213,080トンで1,442,429トンが輸出された。輸出先は91%がオーストラリアである。1971年の消費量は123,600,476トンであり、その用途別比率は、セメント58.5%、鉄鋼・製錬19.4%、製糖11.1%、石灰5.7%、製紙・パルプ2.7%、カーバイド1.0%、ソーダ・ガラス0.8%、土建用0.1%、タンカル・石粉0.1%、その他0.6%となっている。

ii) ケイ石

わが国の白ケイ石の生産は年々増加し、1972年では180万トンに達している。純粋で高品位のものは、光学レンズ、陶磁器、硝子製品、研削材(Cグリーン・GCグリーン)、フェロシリコンおよび燐製品の原料として用いられる。またメタリックシリコンの原料にも用いられるようになった。シリコンはケイ素樹脂とも呼ばれ、電気絶縁物、耐寒・耐熱グリース、撥水剤、離型剤、潤滑油として広く用いられ、高純度シリコンは半導体材料として整流器、トランジスター、ダイオードなどに用いられている。

iii) 石こう

石こうには天然石こうと化学石こうとに大別されるが、わが国は外

国とは逆に、良質な天然石こう資源に恵まれず、化学石こうが昭和10年ごろから手がけられてきた。その結果、現在わが国の石こう資源の90%までは化学石こうである。化学石こうの発生源の80%までは、リン酸製造の際に副生するリン酸石こうである。そのほか、螢石を原料として弗酸を製造する際発生する無水硫酸からの合成によるもの、酸化チタンを製造する際、再生する硫酸を中和するとき合成されるもの、製塩工業において、ニガリから副生するものなどがある。1972年の化学石こうの生産量は354万トンで年々増加してきている。

石こうの主な用途は、セメントの凝結緩和剤、陶磁器型材、石こう鑄型、外科用ギブス、歯科治療用、白ぼく、美術工芸用、石こうプラスチック、石こうボード、石こうラスボード、石こうブロック、石こうパネル、とうふの凝結剤、水質の転換剤、肥料調整材、ニッケル製錬、光学レンズの研磨用と広範囲におよんでいる。

iv) ケイ砂

ケイ砂は SiO_2 に富んだ石英砂の総称である。知多半島一帯は天然ケイ砂の生産量の70%を占め、山口県や島根県などからも良質のケイ砂が産出する。1971年の用途別消費量は、板ガラス1,248千トン、ガラス製品1,203千トン、鑄物用1,498千トン、その他573千トン、合計4,522千トンとなっている。このうち輸入は185千トンにすぎない。

v) ロウ石

ロウ石はわが国の各所に分布し、鉄鋼、製紙などの需要の増加によって、生産量も増え、最近では年産約140万トン(1973年)となっており、とくに岡山、広島、兵庫の三県で全国生産量の約80%を占めている。耐火物用、陶磁器用、クレー原料用として用いられる。

vi) いおう

わが国のいおうは鉱山いおうが減少し、重油の脱硫などの回収いおうが増えている。1972年の生産量は495,497トンで、回収いおうがその約97%を占めている。輸入は12,113トンにすぎない。

1970年の天然いおうの用途別出荷量は紙・パルプ45,928トン(45

%), 粉末加工 14,676 トン (15 %), 二硫化炭素 10,488 トン (10 %), 無機薬品 6,612 トン (7 %), 合成繊維 3,084 トン (3 %), 農薬 1,466 トン (1 %), その他 19,319 トン (19 %), 計 101,573 トン (100 %) となっている。回収いおうは硫酸の製造に用いられるが, 供給過剰の見通しに対して, 新規用途の開発が研究されている。

vii) 氷晶石

1972 年の氷晶石の国内生産は 29,771 トン, 輸入は 3,073 トンであった。氷晶石はアルミニウムの電解に欠くことのできない溶融剤である。そのほか, 陶磁器, ほう瑯ガラス, 砥石, 溶接棒被覆剤などに用いられる。

(2) 自給率 60~90 %の非金属鉱物資源

i) 耐火粘土

わが国は年間 150 万トンの耐火粘土を生産するが, そのうち木節粘土と蛙目粘土が全体の 75 %を占め, 頁岩粘土がそれらに次いでいる。耐火粘土は粘土質耐火煉瓦の主原料とともに, 陶磁器の原料として総需要の 80 %が消費されている。とくに高耐火度を必要とする耐火煉瓦の原料はアメリカ, 南アなどから輸入している。昭和 47 年度の自給率は 86 %である。

ii) 重晶石

1973 年の国内生産は 63,950 トン, 輸入は 39,215 トンと重晶石の自給率は 62 %であった。重晶石は, 工業的に利用できる唯一のバリウム鉱物であるため, バリウム塩類の主原料となる。バリウム塩類の主なもの, リトポン, 塩化バリウム, 硝酸バリウム, 炭酸バリウム, 沈降性硫酸バリウム, 薬用硫酸バリウム, 簾性硫酸バリウム, 酸化バリウムなどである。

(3) 自給率 3 %以下の非金属鉱物資源

i) 石綿

国内自給率はきわめて低く, 1973 年の国内生産量 8,502 トンに対

し輸入量は 341,540 トンであった。主な用途はつぎのとおりである。石綿製品（石綿糸、石綿布、石綿バックিং、石綿ひも、石綿ゴム引きテープ、石綿ゴム加工、黒鉛塗石綿糸、ジョイントシート、石綿板、プレーキライニング、ランパー、電解隔膜、石綿紙）、セメント製品（石綿スレート、石綿円筒、石綿高圧管）、その他（アスファルト混合、鋳鉄管ライニング、潤滑用グリース）

ii) ホタル石

わが国のホタル石は産出量も少なく、品位も低いので、年々多量のホタル石を買付けている。1972 年の供給量 498,366 トンのうち国内生産は 8,262 トンにすぎず、他は輸入に依存している（自給率 1.7 %）。消費量 460,588 トンの内訳は鉄鋼用 71.5 %、アルミニウム用 10.0 %、無機薬品 15.3 %、その他 3.3 %となっている。

iii) 黒鉛

わが国でもわずかに産出するが、低品位のため工業的な用途にはあまり適せず、ほとんどを韓国、ソ連などから輸入している。1972 年の国内生産は（リン状）853 トン、輸入はリン状黒鉛が 5,393 トン、土状黒鉛が 33,645 トン、天然黒鉛が 1,204 トンとなっている。

黒鉛は電気の良導体で、化学的に安定で、しかも耐火性と潤滑性能が優れているので、炭素工業の主原料として、電極、炭素電極、電機用ブラシ、炭素棒、るつぼ、耐火煉瓦、鉛筆、鋳造材料、減摩材として広汎な用途をもっている。

iv) ホウ砂

わが国では全く産出せず、トルコ、アメリカ、ソ連から輸入している。1973 年の輸入量は 43,319 トンであり、そのうちトルコが全体の 87.8 %、アメリカとソ連が同じく 6.1 %となっている。用途はガラス、研磨剤、ガラス繊維、ほうろう釉薬、陶磁器、肥料である。

v) リン鉱石

わが国には工業的に利用できるリン鉱石は無く、1973 年には 3,189,935 トンを輸入している。輸入先はアメリカ 60.5 %、モロッコ 19.4 %、ヨルダン 6.0 %、ナウル 4.8 %、セネガル 3.7 %などとな

っている。需要の 90 % はリン酸質肥料の原料であるが無機薬品（黄リン，赤リン，硫化リン，リン酸ソーダ，トリポリリン酸ソーダなど）の製造にも使われる。

vi) チリ硝石

チリ硝石は，第一次大戦までは世界の窒素資源として重視されたが，空中窒素の固定によってその地位は低下してしまった。わが国の輸入量は昭和 10 年には 62,526 トンであったものが昭和 47 年には 15,800 トンに減少している。主な用途はガラス製品用や化学用のほかに，肥料として北海道のビート用，はっかや葉煙草の栽培に用いられている。

6. 金属鉱物資源

(1) 非鉄金属鉱物資源

i) 銅鉱石

経済的に銅分を採取できる鉱物は，化学組成により，自然銅，硫化銅鉱，酸化銅鉱に分けられる。わが国は，かつてはアメリカに次いで世界第 2 位の生産国であったが，現在では国内鉱山の生産量は年間 12 万トン（昭和 47 年度）で，全世界に占める割合は 1.6 % にすぎない。わが国の銅の消費量は 992 千トン（昭和 47 年度）で電線 69.9 %，伸銅 26.9 %，銅合金鑄物その他 3.2 % であった。

銅の製錬の副産物として，鉱石中に含まれているいおう分は SO_2 として回収し硫酸の製造に用いる（前述）。そのほか，亜硫酸の回収や，セレンウム，金，銀，白金，パラジウムが電解のさいの陽極泥（アノード・スライム）に存在するのでそれらの金属を回収する。また，電解液から硫酸銅，硫酸ニッケルを採取する。

ii) ボーキサイト

ボーキサイトはアルミニウムの水酸化合物でアルミニウムの原料として重要なものである。わが国には全く産出しないので，インドネシアのビンタン，マレーシアのラムニアおよびオーストラリアのコマルコよりボーキサイトを輸入している。また，ボーキサイトは耐火材や研磨剤にも用いられる。1972 年のアルミ製錬用のボーキサイトの輸

入量は 4,411,170 トンであった。

iii) 鉛鉱石

工業的に広く利用されるものは方鉛鉱 PbS 、白鉛鉱 $PbCO_3$ 、硫酸鉛鉱 $PbSO_4$ である。1972 年度の鉛地金の生産は国内鉱出 68 千トン、スクラップ出 33 千トン、海外鉱出 126 千トン、地金輸入は 6 千トン、内需 240 千トン、海外依存度 66.0 % となっている。需用量の 38 % は無機薬品の製造、36 % は蓄電池、10.8 % は鉛管板、6.8 % は電線である。鉛を原料とする無機薬品はリサージ（一酸化鉛）、鉛丹（四三酸化鉛）、鉛白（塩基性炭酸鉛）である。

iv) 亜鉛鉱石

鉱石のうちもっとも一般的に産出するものは閃亜鉛鉱である。1972 年度の亜鉛地金の需給は、生産が国内鉱出 277 千トン、スクラップ出 70 千トン、海外鉱出 488 千トン、地金輸入が 8 千トン、内需が 748 千トン、海外依存度 64.1 % となっている。内需の内訳は亜鉛鉄板 36 %、その他メッキ 17 %、ダイカスト 20 %、伸銅 13 %、その他 14 % である。亜鉛化合物は、酸化亜鉛（亜鉛華）、塩化亜鉛、硫酸亜鉛などがあり、無機薬品の原料として使用する金属のなかで亜鉛がもっとも多い。

v) 錫鉱石

錫石がもっとも一般的な鉱物である。わが国の錫鉱石の自給率はわずかに 5 % にすぎず、オーストラリアから輸入している。錫地金の輸入は 1973 年 35,816 トンで、その約 72 % をマレーシアから輸入している。1972 年の消費量は 32,510 トンで、ブリキ用 11.3 %、減摩合金用 3.5 %、はんだ用 32.7 % となっている。

vi) 水銀鉱石

水銀は天然に遊離の状態で産出することもあるが、大部分は硫化水銀となって辰砂として産出する。1972 年の水銀の輸入は 448 トン、国内新規生産 224 トン、再生水銀 57 トンとなっている。国内新規生産のうち国内鉱出の占める比率は 82.6 % である。水銀は食塩電解用の陰極として、もっとも多量に用いられていたが、最近の水銀公害の

問題で、その使用が規制されてきた。1972年の用途別消費量は水酸化ナトリウムの製造用 343 トン、触媒 1 トン、無機薬品 101 トン、その他の化学製品 7 トン、機器・計器用 75 トン、医薬その他 51 トン、合計 578 トンとなっている。

vii) アンチモン鉱石

もっとも重要な鉱石は輝安鉱 (Sb_2S_3) である。わが国のアンチモン資源は第一次大戦までにはほとんど掘り尽してしまったので、全量をボリビアなどから輸入している。1973年の輸入量は 13,959 トンであった。1972年のアンチモン地金の消費は蓄電池 1,670 トン、減摩合金 209 トン、硬鉛鋳物 156 トン、活字 265 トン、鉛管板 26 トン、メッキ 13 トン、その他 171 トン、合計 2,510 トンであった。

viii) ニッケル鉱石

ニッケル鉱石には含ニッケル磁硫鉄鉱と珪ニッケル鉱、含ニッケルラテライトがある。わが国のニッケル資源は、蛇紋岩地帯などの岩石中にわずかに含まれるが、工業的には全く利用されない。したがって全量をニューカレドニア、インドネシアなどから輸入している。1973年の輸入量は 3,539,381 トンの多量に達している。ニッケルの用途は耐熱材料、耐食材料、電気電子材料として広く用いられている。酸化ニッケルは鉄鋼、粉末冶金、電子工業の原料や、ガラス、陶磁器の着色剤として用いる。

iv) コバルト鉱石

コバルトの主要鉱石は輝コバルト鉱と砒コバルト鉱である。脱銅の際にコバルトを回収する技術も確立されているが、現在は需要の全量が輸入によっている。1973年の輸入地金の量は 4,490 トンで、のうちザイールが 80.8 % を占めている。用途は高速度鋼、耐熱合金、磁性合金、超硬工具などである。

(2) 鉄属鉱物

i) 鉄鉱石

重要な鉄鉱石は磁鉄鉱、赤鉄鉱、菱鉄鉱、かつ鉄鉱の四種類である。

わが国では、岩手県釜石鉱山に主として産するが、国内の鉄鉱石の生産量は需要量の1%を満たすにすぎず、砂鉄、硫酸焼鉱などを利用し自給率を10%に高めている。しかし、大部分は海外に依存せざるをえない状態である。1972年度の鉄鉱石の消費量は123,804千トンに達し、うち輸入が110,942千トン、国内鉱出が12,862千トンであった。

鉄鋼の増産に伴って、鉱石の輸入先も大きく変わり、昭和40年当時では全輸入量の約50%がマレーシア、フィリッピン、インドなどのアジア諸国であったものが、昭和48年ではオーストラリアが全輸入量の48%を占め、インドを含めて60%のシェアをもつようになった。

ii) 砂鉄

砂鉄は鉄鉱石に比べてチタン(TiO_2)を含むことが大きな特徴である。

1972年の砂鉄の消費量は3,058千トンで輸入鉱によるものが全体の約84%を占めている。用途別にみると、焼結用2,886千トン、製鉄用126千トン、製鋼用46千トンとなっている。

iii) チタン鉱

チタン鉱のうち工業的に利用される鉱石はイルメナイトとルチルである。わが国では酸化チタンの需要が旺盛なためチタン鉱石の90%は酸化チタン用であり、オーストラリア、マレーシアなどから鉱石を輸入している。1973年の輸入量は93,719トンである。

金属チタンは、強度、軽量、耐腐食性、耐熱性という四つの長所をもった優れた金属で、航空機のガソリタンクやジェットエンジンの部品をはじめ、石油化学、ソーダ工業、合成繊維、紙・パルプ、化学肥料工業に広く用いられている。またフェロチタンとして製鋼用やアルミニウム合金添加用としても使われる。1972年のチタンの生産量は4,718トン、輸出量は3,257トンであった。

一方、酸化チタンは変色しない高級白色顔料で、塗料、製紙用のほか、ゴム、合成樹脂着色剤、印刷インキに広く用いられ、アメリカを

はじめ世界各国に輸出される。1973年の酸化チタンの輸出実績は28,955トン、輸入は13,419トンであった。

iv) バナジウム鉱石

わが国ではバナジウムを含むカルソー石が少量産出するが、工業的には利用されていない。そのため、廃ガスから回収する一方、鉱石を各国から輸入している。

1973年の五酸化バナジウムの輸入量は2,632トンで南アフリカ共和国から1,683トン、西ドイツ638トン、アメリカ311トンとなっている。バナジウム鉱石は、フェロバナジウムとして坑張力鋼、工具鋼の添加材料として重要である。金属バナジウムはTi, Zr, Cuへの合金添加剤やジェット機の耐熱材として、また排気ガス清浄器の接触剤や触媒として用いられる。

v) 硫化鉄鉱

硫化鉄鉱の生産はソ連について日本が第2位を占めている。需要の90%は硫酸の製造に用いられるが、昭和46年度より製錬ガスによる生産の増加、重油の脱硫による回収いおうの増加によって、硫化鉄鉱の焙焼による硫酸の製造は最近減少してきた。1972年度の硫酸生産は製錬ガス出が4,061トン、焙焼硫酸が2,695千トンとなっている。1960年度では前者が854千トン、後者が3,664千トンであった。

vi) クロム鉱石

クロムを含む唯一の鉱物はクロム鉄鉱である。わが国の自給率は3%にすぎず、主として南アフリカ、フィリッピンから輸入している。1973年の鉱石輸入量は1,163,616トンであった。クロム鉱石の用途の75%は鉄鋼用であり、そのほか化学用、耐火物用に用いられる。重要なクロム塩類は重クロム酸ナトリウム、無水クロム酸、酸化クロム、重クロム酸カリウムである。

vii) マンガン鉱

最近、粗鋼の増産に伴って原料マンガン鉱の需要が増し、昭和47年は国内需給率は約16%にすぎない状態になってきた。そのため

オーストラリア、南アフリカ、ガボンなど多くの国々から大量の鉱石を輸入している。1973年のマンガン鉱石の輸入量は1,786,138トンに達した。マンガン鉱は鉄鋼用のほか二酸化マンガンの製造に用いられる。

viii) モリブデン鉱

わが国のモリブデンの自給率は僅少で、鉱石あるいは三酸化モリブデン（焼鉱）を大量に輸入している。1973年の輸入量は前者が1,633トン、後者14,978トンであった。モリブデンは特殊鋼、潤滑剤のほか、モリブデン酸アンモニウム、顔料、塗料、触媒、印刷インキとして用いられる。

ix) タングステン鉱

1972年のわが国のタングステン鉱石の生産量は1,554トン、輸入量は2,436トン、消費量は4,228トンであった。1972年のタングステン鉱石の用途別消費比率は、金属タングステン用54.7%、フェロタングステン用2.3%、タングステン酸カルシウムクリンカー2.2%、無機薬品0.07%となっている。また同年の金属タングステンの消費量は1,639トンで、超硬工具966トン、線板291トン、高速度鋼8トン、特殊鋼6トン、その他368トンであった。

(3) 貴金属鉱

i) 金・銀鉱

わが国は昔から金に恵まれ、昭和15年には27トンの金を生産し、世界で第6位を占めたこともあった。1972年の産金実績は7,559kgで、金鉱山出が5,635kg、銅・鉛・亜鉛鉱山出が1,924kgであった。他方、1972年の産銀実績は313トンで、金鉱山から60トン、銅・鉛・亜鉛鉱山出が253トンであった。金地金の消費量は1972年で108,863kgで消費内訳は装身具・指輪45.1%、電子通信機用21.9%、歯科医療用10.5%、勲章・徽章9.4%、時計3.1%、陶磁器用2.2%、万年筆用2.0%、金張用0.6%、その他5.2%であった。一方、銀地金の消費量は1972年で1,688トンで消費内訳は、感光剤用硝

酸銀 39.3 %，接点 12.1 %，管・板・棒・線 9.8 %，銀ろう 9.7 %，その他の硝酸銀 7.2 %，銀器・装身具 7.0 %，はく粉 2.1 %，メッキ 5.7 %，歯科材料 1.6 %，その他 5.5 %となっている。

ii) 白金族

わが国の白金族の生産は銅製錬所において製錬の副産物として回収されるものだけである。1972年の白金の国内生産量は131,878g，パラジウムは176,029gであった。白金の輸入量は1973年で41,536kgで主としてソ連と南アフリカ共和国などから輸入されている。パラジウムおよびロジウムの輸入量は1973年で27,055kgおよび548kgであった。またイリジウム，オスミウム及びルテニウムの輸入量は668kgで主な輸入先はイギリスとアメリカであった。

(4) 希有鉱物

希有鉱物にはモナズ石，ジルコンおよびジルコニウム鉱物，ゲルマニウム，ペリリウム鉱，ウラン鉱，タンタル・ニオブ鉱石などがあるが，いずれも全量を海外に依存している。輸入量は少なくとも，重要な用途をもった元素を含んでおり，それらの鉱物の確保はきわめて大切である。

7. 廃棄物の再資源化

廃棄物を回収して再利用することは，石こうの回収，精錬ガスから硫酸の製造などの事例にもみられるように，資源保護と環境保全のうえできわめて大切なことである。廃棄物を資源化するための基本的要件は，利用目的に合致するように分別し，大量に集めることである。この分別がそう簡単に行かないが，いったん混合してから選別分離することを避け，初めから分別するように努めねばならない。排出時に混合状態で分別困難なものは，そのまま付加価値の低い製品に利用するのが望ましい。焼却や埋立による場合にも，単に焼却するだけでなく，そのさい発生する熱を活用するとか，埋立にしても，その後の利用計画を事前に検討しておくべきである。

自然界での物質の循環と製品生産・消費における物質循環との調和を謀らねばならない。

おわりに

化学資源としての視点から大気・海水・淡水・鉱物の各資源の現状を通覧した。海水中の成分のように量は莫大でも採取するには、とてつもなく大量のエネルギーを必要とするため充分な利用ができないものもある。また、鉱物資源のうち、とくに金属資源は埋蔵量も少なく、いずれ枯渇する時が来るであろう。そのために海水中の溶存金属を利用する時代が来るかもしれない。それには化石燃料以外のエネルギーの有効利用を解決しなければならぬだろう。資源のリサイクルの確立こそ、この地球上の限られた資源を有効に利用するために達成しなければならない問題である。今や、資源の利用現状を人間の福祉のために、本当にこれでよいのかを再考する時期にきている。何事においても、資源やエネルギーそして環境とを大切にすることが根底として重視されるべき時である。

(1974年8月5日)

参考文献

1. 化学工業日報社「5573の化学商品」
2. 西尾滋著「金属資源」丸善
3. David H. Killeffer "Chemical Engineering" Doubleday & Company, Inc. (1967)
4. 黒岩俊郎編「日本資源読本」東洋経済新報社
5. 久保輝一郎著「無機工業化学」朝倉書店
6. 井本稔等共著「有機工業化学」朝倉書店
7. 「商品大辞典」東洋経済新報社
8. 通商産業省化学工業局編「70年代の化学工業」化学工業日報社
9. 久保輝一郎著「無機工業薬品」大日本図書
10. Brian J. Skinner "Earth Resources" Prentice-Hall, Inc. (1969)
11. 神保元二著「生産は環境と調和できるか」日刊工業新聞社
12. 田中聖三「わが国のヘリウム事情」化学と工業 24 巻 8号 (1971)
13. 岸井貫「クリプトンとキセノン」化学と工業 26 巻 9号 (1973)

14. 鈴木一成「液体窒素の低温利用」化学と工業 26 卷 4 号 (1973)
15. 松田樹也「酸素工業の最近の動向」化学と工業 20 卷 12 号 (1967)
16. 中山道夫「工業塩自給の可能性」化学と工業 24 卷 11 号 (1971)
17. 川戸俊雄「原料塩需給の現況」化学と工業 26 卷 11 号 (1973)
18. 山本阜「隔膜法電解ソウの動向」化学と工業 25 卷 5 号 (1972)
19. 原田謙次「臭素」化学と工業 22 卷 8 号 (1969)
20. 野口武「わが国の特産資源ヨウ素」化学と工業 24 卷 1 号 (1971)
21. 村山義夫「水資源確保と造水センター」化学と工業 26 卷 9 号 (1973)
22. 三宅泰雄「人類生存環境としての水圏」化学 28 卷 9 号 (1973)
23. 柴田益男「工業用水合理化政策」化学経済 1974 年 2 月号
24. 矢野恒太郎記念会編「日本国勢図会」1974 国勢社
25. 吉田国夫著「鉱産物の知識と取引」通商産業調査会
26. 本多淳裕「廃棄物資源化の基本姿勢」化学工業 1973 年 8 月号
27. 瀬戸山克己「石コウの再資源化」化学工業 1973 年 8 月号
28. 荒木芳彦「硫黄の需給とその有効利用」化学工業 1973 年 8 月号
29. 「資源の問題」化学と工業 23 卷 10 号 (1970)
30. 大町北一郎「国内鉱物資源の自給率」化学と工業 27 卷 6 号 (1974)
(昭和 49 年 8 月 5 日 受理)